Canadian Centre for Occupational Health and Safety

Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail

Do Diesel Exhaust Emissions Cause Cancer Or Respiratory Disease?

P86-17E

87-02785/

Canadian Centre
for Occupational Health
and Safety

Do Diesel Exhaust Emissions Cause Cancer or Respiratory Disease?

by
• Paul Sampara
Material Hazards

Canadian Centre
for Occupational Health
and Safety

DO DIESEL EXHAUST EMISSIONS CAUSE CANCER OR RESPIRATORY DISEASE?

CCOHS NUMBER P86-17E

ISBN 0-660-12190-5

DSS CATALOGUE NUMBER CC273-2/86-17E

This publication is available
in both official languages.

Cette publication est disponible
dans les deux langues officielles.

While the Centre endeavours to ensure the accuracy and completeness of information provided, it is understood that the Centre makes no warranty as to the accuracy or completeness of such information and assumes no liability for any damages or loss suffered as a result of any inaccuracy or incompleteness therein.

Published 1986

Additional copies available upon request.

250 Main Street East
Hamilton, Ontario
L8N 1H6
(416) 572-2981
Telex 061-8532

Canadian Centre
for Occupational Health
and Safety

CONTENTS

CONTENT	PAGE
Abstract	**1**
Why is there concern about diesel emissions?	**1**
Where can workers be exposed to diesel emissions	**1**
What's in diesel emissions?	**1**
What levels of diesel emissions are present in the workplace?	**2**
What evidence is there that diesel emissions are harmful?	**3**
Studies of workers exposed to diesel emissions	3
Animal inhalation studies	5
Tests with bacteria and animal or human cells	6
What conclusions can we draw from what is known about health effects of diesel emissions?	**7**
References	**8**

Abstract

This publication discusses concerns about diesel exhaust emissions: do they cause cancer or respiratory diseases in exposed workers? Evidence from human, animal and laboratory studies is described. The data indicate that the risk for humans is very small, but animal and laboratory tests suggest that controls are necessary to ensure a healthy working environment.

Why is there concern about diesel emissions?

Diesel exhaust emissions have become a health concern. Experiments with animals show that some of the chemicals in diesel exhaust cause harmful effects to the respiratory system. Laboratory tests have shown that diesel emissions can also cause cancer and genetic damage in animal and human cells.

The use of diesel powered engines has increased significantly over the last 20 years. This trend is likely to continue because diesel engines are more fuel efficient than gasoline engines and diesel fuel is usually cheaper than gasoline.

Where can workers be exposed to diesel emissions?

Workplaces where diesel exhaust emissions may be present include:

- underground mines,
- transportation vehicles - railway locomotives
  - trucks
  - buses,
- diesel engine repair and maintenance garages,
- shipping, receiving and loading docks,
- construction sites, tunnels, open-pit mines and quarries.

What's in diesel emissions?

Diesel exhaust emissions are mixtures of particles and gases containing hundreds of chemical compounds. Most of these chemicals are present only in small amounts. Water and carbon dioxide make up about 99 percent of the emissions. The other one percent contains the chemicals which are of concern to health:

- unburned carbon particles (soot),
- hydrocarbons attached to the carbon particles,
- nitrogen oxides,
- sulfur oxides, and
- carbon monoxide.

The particles contained in diesel exhaust emissions are of special concern because:

What's in diesel emissions *continued*

1. Diesel engines produce many more carbon particles than gasoline engines;

2. Most of the carbon particles are small enough to be inhaled and deposited in the lungs;

3. Toxic hydrocarbons and gases from the diesel exhaust can also be carried into the lungs because they easily stick onto the surface of the carbon particles.

The amount and composition of diesel emissions depend on the type of diesel engine, type of diesel fuel, fuel system, engine speed, and engine loading.

Similar particles and gases are also found in city smog and in gasoline engine exhaust. Table 1 compares the main features of gasoline and diesel engines.

Table 1 Comparison of gasoline and diesel engines

Factor	Diesel engines compared to gasoline engines
Fuel efficiency	20% to 30% greater
Maintenance costs	Lower
Durability	Greater
Carbon Particulates	50 to 100 times more
Hydrocarbons	Far lower levels
Carbon monoxide	Far lower levels
Nitrogen oxides	Same
Sulfur oxides	Same
Odour	More
Noise	Slightly more

Adapted from Table 1, page 90, reference 9

What levels of diesel emissions are present in the workplace?

Workplace measurements show that the concentrations of particles and gases in diesel exhaust emissions are usually below the recommended exposure limits[1-8]. Higher levels may occur when diesel powered equipment is first started up or when it is used in unventilated, enclosed areas. Table 2 lists some of the levels of diesel emissions found in underground mines. These can be compared to the recommended exposure limits of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) which are also listed in Table 2.

Table 2 Estimated levels of diesel emissions in underground mines

Diesel Exhaust Emission	Measured exposures* ppm	Measured exposures* mg/m^3	Recommended exposure limits** ppm	Recommended exposure limits** mg/m^3
Carbon Monoxide (CO)	0—20	0—22	50	55
Carbon Dioxide (CO_2)	400—1500	720—2700	5000	9000
Nitric Oxide (NC)	1—20	1.2—24	25	30
Nitrogen Dioxide (NO_2)	0.2—0.4	3	6	
Sulfur Oxides (SO_x)	0.5—0.7	1.25—1.8	2	5
Sulfuric Acid Mist (H_2SO_4)	—	0—0.2	—	1
Diesel Particles	—	0.1—2.0	—	—

* Combined results from references 1 to 8.

** Time-Weighted Average Exposure Limits as adopted by ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) for 1985-1986.

NOTE: In many Canadian jurisdictions, exposure limits are similar to the ACGIH TLVs. Since the manner in which exposure limits are established, interpreted, and implemented can vary, obtain detailed information from the appropriate government agency in each jurisdiction. For example, in Ontario, the exposure limit for carbon monoxide is 35 ppm or 40 mg/m^3. Furthermore, the Ontario Ministry of Labour Underground Diesel Equipment Code limits carbon monoxide levels to 20 ppm in underground mines.

What evidence is there that diesel emissions are harmful?

Information on the health effects from exposure to diesel exhaust emissions is available from: studies of exposed workers, animal inhalation tests, and tests with bacteria and animal or human cells.

Studies of workers exposed to diesel emissions

Studies have been done among coal, potash, salt miners and transportation (railway, bus, and truck) workers[6-16] to determine whether exposure to diesel emissions causes cancer or respiratory disease.

Is there any evidence of cancer among workers exposed to diesel emissions?

It is thought that hydrocarbons or other chemicals may be released from inhaled diesel particles. These chemicals could then affect the lungs or be transported to other organs and tissues where they may have toxic effects. The greatest concern has been whether the hydrocarbons contained in diesel exhaust emissions cause cancer of the lungs or other organs.

In the studies done so far, there is no evidence of increased rates of lung cancer among miners or transportation workers. All the studies have had major flaws. Some had no information on the actual diesel emission levels. Others had no details on the length of exposure or the smoking histories of the workers.

Some recent studies have been done to find out whether workers exposed to diesel exhaust have increased rates of cancers other than lung cancer[17-20].

Is there any evidence . . . *continued*

One of these studies involved a large group of heavy equipment operators. This group was found to have much higher rates of liver cancer than the general white male population of the United States[17]. It is very difficult to draw any definite conclusions about these findings. There were no records of diesel exhaust emission levels and very little work history information.

Other studies suggested that truck drivers experience higher rates of bladder cancer[18,19]. When smoking, alcohol, and coffee consumption were taken into account, there was no association between exposure to diesel emissions and bladder cancer[20]. As in the lung cancer studies, a major limitation is not knowing the concentration of diesel exhaust emissions or the length of exposure.

Is there evidence of other respiratory diseases?

Nitrogen oxides and sulfur oxides are found in diesel exhaust. There is concern that they might cause respiratory diseases. Some studies of salt miners found a slight increase in cough and phlegm production, but there were no changes in lung function[21-23]. Other miners, railway workers and bus garage workers have also been studied[13,15,24-27]. Only in the case of bus garage workers were symptoms such as wheezing, cough and phlegm production noticed[24-27]. This was due to short-term high level diesel emission exposures. No associations were found with more serious breathing disorders such as bronchitis or emphysema.

What are the problems with the human exposure studies done to date?

Human studies so far indicate that exposure to diesel exhaust emissions does not cause lung cancer or other respiratory diseases. However, all the studies done so far have several problems.

1. **Number of Workers**
   Most of the studies included only small numbers of workers. This makes it difficult to draw conclusions from the results.

2. **Other Exposures**
   Lifestyle factors such as cigarette smoking or exposure to other chemicals in the workplace were often not taken into account.

3. **Concentration of diesel exhaust emissions**
   In nearly all the studies, concentrations of diesel exhaust emissions were not measured. In a few studies the exposure levels were measured and it was found that the average concentration of diesel emissions was about 4 to 5 times the levels in air of some Canadian cities[4,5]. No studies have included personal air sampling for workers exposed to diesel exhaust emissions.

What are the problems . . . *continued*

Major studies of heavy equipment operators[28] and railroad workers[29] exposed to diesel emissions are in progress. To minimize the major drawbacks of earlier studies, large numbers of workers will be included, both concentration and length of exposure to diesel exhaust will be measured, and smoking histories will be carefully considered.

4. **Length of Time to Develop Cancer**
   It may take 30 years or more for cancer to develop as a result of exposure to a cancer-causing chemical. The first diesel powered equipment was introduced into Canadian mines in 1957, and the widespread use of diesel powered transportation vehicles (trucks, buses, cars) is even more recent. So it may still be too early to see any lung cancer that might result from exposure to diesel emissions.

Animal inhalation studies

It has always been difficult to extend findings from animal experiments to man. There are great variations between species and among individuals in their susceptibility to cancer-causing agents. However, animal studies often provide important clues as to how a chemical affects humans. They are of particular value when the animals are exposed to the chemical in the same way that humans would be exposed.

Major long-term inhalation studies using several kinds of laboratory animals have recently been completed or are still in progress[10,12,13,15]. In one of these studies, the animals were exposed to diesel emissions with concentrations of particles up to 12 milligrams per cubic metre, for periods up to 140 hours per week for more than 2 years[10]. There was a slight increase in the number of lung tumours in animals exposed to concentrations of particles more than 8 mg/m^3. At lower concentrations, there were signs of some damage to the lung tissue and reduced functioning of the lungs.

The results of these studies are useful because the animals inhaled diesel exhaust emissions, which is the way humans are exposed. The exposure was also like that of humans since it included gases as well as particles. But, it is important to point out that the levels of diesel particles and gases to which the animals were exposed were much higher than one would find in a workplace. Air sampling measurements in underground mines have shown that average concentrations of diesel particles are usually less than 2 mg/m^3 [6,7,8]. Individual gases are present at only a few parts per million.

Tests with bacteria and animal or human cells

Animal studies are one way of testing chemicals for toxic effects, but they are very time consuming and costly. A more rapid and less expensive method is to use less complex systems such as bacteria and animal or human cells.

In these tests, hydrocarbons are first removed (extracted) from the diesel exhaust particles. This is done by dissolving the collected particles in a solvent. The solvent removes the hydrocarbons and other compounds that are stuck on the carbon particles. The resulting solution contains hundreds of different hydrocarbons. The solvent can be evaporated and a sample of the concentrated extract can be tested for toxic effects. With further treatment, the different kinds of hydrocarbons contained in the extract can be separated. These can then be tested for toxic effects and analyzed to identify the hydrocarbons.

The most commonly used test for mutation is the Ames test, named after its inventor, Bruce Ames. It is based on the theory that damage to a cell's genetic information - called a mutation - is the critical step in the development of cancer.

Even though a chemical may give a positive result in the Ames test, this does not mean that the chemical will cause cancer. A positive mutation test only indicates that the chemical *may* cause cancer.

In 1977, the U.S. Environmental Protection Agency issued a warning notice when it was found that extracts of diesel exhaust particles caused mutations in the Ames test[30]. Since then, many other experiments have been carried out using the Ames or similar tests to identify and understand how diesel exhaust particles affect living cells. These findings are reviewed in several reports[12,13,15] and are summarized below.

1. Only a few of the many hundreds of hydrocarbons from diesel exhaust have been identified.

2. Some of these have been found to cause mutations in tests with bacteria.

3. Some of the hydrocarbons are much more potent in causing mutations than others. Those that have reacted with nitrogen oxides in the exhaust emission have been found to be especially potent.

4. Extracts from diesel exhaust particles appear to be less potent than coke oven emissions, roofing tar, and cigarette smoke in causing mutations in tests with bacteria.

Laboratory tests with cells from mice, hamsters, and humans have also shown that extracts from diesel exhaust particles cause mutations.

Tests with bacteria and animal or human cells *continued*

How do we relate these findings to humans exposed to diesel emissions in a workplace? First of all, diesel extracts used in these types of tests are much more concentrated than would occur in the workplace. The extracts have to be concentrated in these experiments for an effect to be seen. Secondly, an effect such as mutation seen in an experiment with isolated cells does not mean that the same effect would occur in an intact animal or human. Animals and humans have defense mechanisms which isolated cells do not. Thirdly, hydrocarbons attached to inhaled diesel particles probably act quite differently in intact animals than the way concentrated extracts act on isolated cells.

What conclusions can we draw from what is known about the health effects of diesel emissions?

1. There is strong evidence that concentrated extracts from the carbon particles in diesel exhaust cause mutations in bacteria and animal or human cells.

2. There is some evidence that exposure to high concentrations of diesel exhaust emissions over a long time causes changes in lung function and lung cancer in animals.

3. There is little evidence that diesel exhaust emissions at concentrations found in workplaces cause lung cancer or permanent changes in lung function among exposed workers.

4. Estimates of the increased lung cancer risk due to diesel emission range from none to slight when compared to other causes of cancer.

The high concentrations of diesel emissions or extracts used in laboratory tests produce effects that are cause for concern. There is still uncertainty about the possible effects of many years of exposure to lower levels of diesel emissions. This emphasizes the importance of limiting exposures as much as possible. This can be done by developing exhaust treatment devices such as filters and scrubbers to reduce or eliminate emissions at the source. Exposures to diesel emissions can also be reduced by providing local exhaust or general ventilation and providing respiratory protection when ventilation is not possible.

REFERENCES

1. Sutton, G.W.; Weems, G.W.; Schutz, L.A.; Trabant, G.D. Summary report of the environmental results of the MSHA and NIOSH silica/diesel exhaust study. Industrial Hygiene for Mining and Tunneling - Proceedings of an ACGIH Symposium, 11/6-7/78. p. 109-117

2. Stewart, D.B,; Mogan, P.; Dainty, E.D. Diesel emissions and mine ventilation. Canadian Institute of Mining Bulletin. (March 1978). p. 144-151

3. Johnson, J.H. An overview of monitoring and control methods for diesel pollutants in underground mines using diesel equipment. Canadian Institute of Mining Bulletin. (July 1980). p. 73-87

4. Westaway, K.C.; Foulds, A.J. Diesel PAH levels in underground mines. In: Wagner, W.L.; et al., eds. Health issues related to metal and nonmetallic mining. Toronto, Ontario: Butterworth, 1983. p. 355-378

5. Mogan, J.P.; et al. Polynuclear aromatic hydrocarbons and mutagens in the air of underground dieselized mines. Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) report; no. MRP/MRL 83-4. CANMET, January 1983

6. French, I.W.; Mildon, A. Health implications of exposure of underground mine workers to diesel exhaust emissions - an update. Contract Report DSQ77-00005. Ottawa, Ontario: Department of Energy, Mines and Resources, CANMET, April 1984

7. French, I.W.; Mildon, A. Health implications of exposure of underground workers to diesel exhaust emissions. Contract Report DSQ77-00005. Ottawa, Ontario: Department of Energy, Mines and Resources, CANMET, December 1979

8. Holliday, M.G.; Sifton, J.W.; Engelhardt, F.R.; Langdon, S.W.; Meng, R.A. Occupational health aspects of diesel exhaust emissions in Ontario. Ottawa, Ontario: Michael Holliday & Associates, November 1981. p. 102-110

9. Weisenberger, B.L. Health of diesel emissions - an update. Journal of the Society for Occupational Medicine. Vol. 34 (1984). p. 90-92

10. McClellan, R.O. Health effects of diesel exhaust: a case study in risk assessment. American Industrial Hygiene Association Journal. Vol. 47, no. 1 (1986). p. 1-13

11. Cuddihy, R.C.; Giffith, W.C.; McClellan, R.O. Health risks from light-duty diesel vehicles. Environmental Science and Technology. Vol. 18, no. 1 (1984). p. 14-21

12. Lewtas, J., ed. Toxicological effects of emissions from diesel engines. New York, NY: Elsevier Biomedical, 1982

13. National Research Council. Impacts of diesel-powered light-duty vehicles: health effects of exposure to diesel exhaust. Washington, DC : National Academy Press, 1981

14. Harris, J.E. Potential risk of lung cancer from diesel engine emissions. Washington, DC: National Academy Press, 1981

15. Pepelko, W.E.; Danner, R.M.; Clarke, N.A., eds. Health effects of diesel engine emissions. Proceedings of an international symposium December 3-5, 1979. Vol. 1-2. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, November 1980

16. Schenker, M.B. Diesel exhaust - an occupational carcinogen? Journal of Occupational Medicine. Vol. 22, no. 1 (January 1980). p. 41-46

17. Wong, O.; Morgan, R.W.; Kheifets, L.; Larson, S.R.; Whorton, M.D. Mortality among members of a heavy construction equipment operators union with potential exposure to diesel exhaust emissions. British Journal of Industrial Medicine. Vol. 42 (1985). p. 435-448

18. Silverman, D.T.; Hoover, R.N.; Albert, S.; Graff, K.M. Occupation and cancer of the lower urinary tract in Detroit. Journal of the National Cancer Institute. Vol. 70, no. 2 (February 1983). p. 237-245

19. Hoar, S.K.; Hoover, R. Truck driving and bladder cancer mortality in rural New England. Journal of the National Cancer Institute. Vol. 74, no. 4 (April 1985). p. 771-774

20. Wynder, E.L.; Dieck, G.S.; Hall, N.E.L.; Lahti, H. A case-control study of diesel exhaust exposure and bladder cancer. Environmental Research. Vol. 37 (1985). p. 475-489

21. Gamble, J.; Jones, W.; Hudak, J.; Merchant, J. Acute changes in pulmonary function in salt miners. Proceedings of an ACGIH Topical Symposium November 6-7, 1978. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1978. p. 119-128

22. Ames, R.G.; Attfield, M.D.; Hankinson, J.L.; Hearl, F.J.; Reger, R.B. Acute respiratory effects of exposure to diesel emissions in coal miners. American Review of Respiratory Diseases. Vol. 125 (1982). p. 39-42

23. Gamble, J.; Jones, W.; Hudak, J. An epidemiological study of salt miners in diesel and nondiesel mines. American Journal of Industrial Medicine. Vol. 4 (1983). p. 435-458

24. el Batarvi, M.; Noweir, M. Health problems resulting from prolonged exposure to air pollution in diesel bus garages. Industrial Health. Vol. 4 (1966). p. 1-10

25. Jones, W.; Gamble, J.; Minshall, S. Epidemiological-environmental study of diesel bus garage workers. I. Industrial hygiene study of four diesel bus maintenance facilities. In press

26. Gamble, J.; Jones, W.; Minshall, S. Epidemiological-environmental study of diesel bus garage workers. II. Acute effects of diesel exhaust on the respiratory system. In press

27. Gamble, J.; Jones, W.; Minshall, S. Epidemiological-environmental study of diesel bus garage workers. III. Chronic effects of diesel exhaust on the respiratory system. In press

28. Milby, T.; et al. Diesel exhaust exposure - human health effects research recommendations. Report of Environmental Health Association to the Co-ordination Research Council, 1979. p. 135-136

29. Schenker, M.B.; Speizer, F.E. A retrospective cohort study of diesel exhaust exposure in railroad workers: study design and methodologic issues. In: Pepelko, W.E; Danner, R.M.; Clarke, N.A.,

eds. Health effects of diesel engine emissions. Proceedings of an International Symposium. Cincinnati, OH: EPA, November 1980. p. 1114-1126

30. Precautionary notice on the handling of exhaust products from diesel engines. Washington, DC: Environmental Protection Association, November 4, 1977

Canadian Centre for
Occupational Health
and Safety

Centre canadien
d'hygiène et de
sécurité au travail

Les émissions de moteur Diesel peuvent-elles causer le cancer ou des maladies respiratoires?

P86-17F

Centre canadien
d'hygiène et de
sécurité au travail

Les émissions de moteur Diesel peuvent-elles causer le cancer ou des maladies respiratoires?

par
•Paul Sampara
Substances dangereuses

Centre canadien
d'hygiène et de
sécurité au travail

LES ÉMISSIONS DE MOTEUR DIESEL PEUVENT-ELLES CAUSER LE CANCER OU DES MALADIES RESPIRATOIRES?

NUMÉRO DU CCHST P86-17F

ISBN 0-660-92035-2

NUMÉRO DE CATALOGUE DSS CC273-2/86-17F

Cette publication est disponible
dans les deux langues officielles.

This publication is available
in both official languages.

Le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail s'efforce de s'assurer que l'information qu'il distribue est exacte et exhaustive. Cependant il est entendu que le Centre ne se porte pas garant que ladite information est exacte et exhaustive et ne sera tenu responsable d'aucun dommage ni d'aucune perte subis par le demandeur par suite de l'utilisation d'une information inexacte ou incomplète.

Date de publication: 1986

Exemplaires supplémentaires disponibles sur demande.

250 rue Main est
Hamilton, Ontario
L8N 1H6
(416) 572-2981
Télex 061-8532

Centre canadien
d'hygiène et de
sécurité au travail

TABLE DES MATIÈRES

TITRE	PAGE
Résumé	1
En quoi les émissions de moteur Diesel soulèvent-elles l'inquiétude?	1
Travailleurs susceptibles d'être exposés aux émissions de moteur Diesel	1
Composition des émissions de moteur Diesel	1
Niveaux des émissions sur les lieux de travail	3
Indications de la toxicité des émissions de moteur Diesel	3
Études de cas de travailleurs exposés aux émissions de moteur Diesel	4
Tests respiratoires chez les animaux	6
Épreuves bactériennes et essais sur des cellules animales ou humaines	7
Conclusions tirées des connaissances actuelles sur les effets des émissions de moteur Diesel pour la santé	8
Références	10

Résumé

Cette publication traite des risques que peuvent poser les émissions de moteur Diesel : ces émissions peuvent-elles causer des cancers ou des maladies respiratoires chez les travailleurs exposés? Nous décrirons ici des résultats d'études de laboratoire et d'expériences sur des humains et des animaux. Selon les données rassemblées, la santé des personnes semble peu menacée, mais les tests en laboratoire et les essais sur les animaux suggèrent qu'il est nécessaire d'exercer certains contrôles afin d'assurer un environnement de travail sain.

En quoi les émissions de moteur Diesel soulèvent-elles l'inquiétude?

Depuis quelque temps, on s'inquiète des effets sur la santé des émissions de moteur Diesel. Des expériences réalisées avec des animaux démontrent que certains des produits chimiques contenus dans ces émissions peuvent être nocifs pour le système respiratoire. Des essais en laboratoire révèlent que les émissions de moteur Diesel peuvent également causer des cancers et des dommages génétiques aux cellules animales et humaines.

L'utilisation des moteurs Diesel s'est grandement répandue depuis les vingt dernières années. Il est probable que cette tendance se poursuivra car les moteurs Diesel consomment moins de carburant que les moteurs à essence et le gazole est en général moins cher que l'essence.

Travailleurs susceptibles d'être exposés aux émissions de moteur Diesel

Les émissions de moteur Diesel peuvent être présentes dans de nombreux lieux de travail, notamment:

- mines souterraines,
- véhicules de transport – locomotives
  – camions
  – autobus,
- ateliers de réparation et d'entretien des moteurs Diesel,
- quais d'expédition, de réception et de chargement de marchandises,
- chantiers de construction, tunnels, exploitations minières à ciel ouvert et carrières.

Composition des émissions de moteur Diesel

Les émissions de moteur Diesel sont constituées de mélanges de particules et de gaz contenant des centaines de produits chimiques. La plupart de ces produits chimiques sont présents en petites quantités seulement. Les émissions sont composées à environ 99 pour cent d'eau et de dioxyde de carbone, et à 1 pour cent de produits chimiques qui peuvent présenter des risques pour la santé, c'est-à-dire :

Composition des émissions de moteur Diesel
suite

- particules de carbone non consumé (suie),
- hydrocarbures fixés sur les particules de carbone,
- oxydes nitriques,
- oxydes de soufre,
- monoxyde de carbone.

Les particules contenues dans les émissions de moteur Diesel sont particulièrement à surveiller pour les raisons suivantes :

1. Les moteurs Diesel produisent beaucoup plus de particules de carbone que les moteurs à essence;

2. La plupart des particules de carbone sont suffisamment petites pour être inhalées et se déposer dans les poumons;

3. Les hydrocarbures et les gaz toxiques provenant des émissions de moteur Diesel peuvent également pénétrer dans les poumons car ils adhèrent facilement à la surface des particules de carbone.

La quantité et la composition des émissions de moteur Diesel dépendent des facteurs suivants : type de moteur Diesel, type de carburant, type de système d'alimentation en carburant, vitesse du moteur et charge du moteur.

Des particules et des gaz semblables sont également présents dans le brumard des villes et dans l'échappement des moteurs à essence. Une comparaison des principales caractéristiques des moteurs à essence et des moteurs Diesel se trouve au tableau 1.

Tableau 1 Comparaison des moteurs à essence et des moteurs Diesel

Facteurs	Comparaison des moteurs Diesel aux moteurs à essence
Efficacité du carburant	20 à 30 % supérieure
Coûts d'entretien	inférieurs
Durabilité	supérieure
Particules de carbone	50 à 100 fois plus
Hydrocarbures	niveaux très inférieurs
Monoxyde de carbone	niveaux très inférieurs
Oxydes nitriques	équivalent
Oxydes de soufre	équivalent
Odeur	plus prononcée
Bruit	légèrement plus élevé

Adaptation du tableau 1, page 90 de la référence 9

Niveaux des émissions sur les lieux de travail

Les mesures prises sur les lieux de travail démontrent que les concentrations de particules et de gaz dans les émissions de moteur Diesel sont habituellement inférieures aux limites d'exposition recommandées [1-8]. On constate que les niveaux d'émissions sont plus élevés au moment du démarrage des engins à moteur Diesel ou lorsqu'on utilise des moteurs Diesel dans des endroits mal aérés et confinés. Au tableau 2, on présente une liste des niveaux d'émissions dans des mines souterraines. On peut comparer ces données aux limites d'exposition recommandées par l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), également énumérées au tableau 2.

Tableau 2 Évaluation des émissions de moteur Diesel dans les mines souterraines

Émission de moteur Diesel	Niveaux d'exposition mesurés*		Limites d'exposition recommandées**	
	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3
Monoxyde de carbone (CO)	0 - 20	0 - 22	50	55
Dioxyde de carbone (CO_2)	400 - 1 500	720 - 2 700	5 000	9 000
Oxyde nitrique (NO)	1 - 20	1,2 - 24	25	30
Dioxyde d'azote (NO_2)	0,2 - 0,4	3	6	
Oxydes de soufre (SO_x)	0,5 - 0,7	1,25 - 1,8	2	5
Brouillard d'acide sulfurique (H_2SO_4)	-	0 - 0,2	-	1
Particules Diesel	-	0,1 - 2,0	-	-

*Résultats regroupés tirés des références 1 à 8.

**Limites d'exposition moyennes pondérées sur le temps adoptées par l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) pour 1985-1986.

NOTE: Dans de nombreuses régions administratives canadiennes, les limites d'exposition sont semblables aux SAE de l'ACGIH. Puisque les limites d'expositions sont établies, interprétées et appliquées de façon différente dans les diverses réglementations, il faut obtenir des précisions de l'organisme gouvernemental approprié dans chaque région. Par exemple, la limite d'exposition au monoxyde de carbone est de 35 ppm ou 40 mg/m^3 en Ontario. De plus, les niveaux de monoxyde de carbone sont limités à 20 ppm dans les mines souterraines, en vertu de l'Underground Diesel Equipment Code du ministère du Travail de l'Ontario.

Indications de la toxicité des émissions de moteur Diesel

L'information que l'on possède sur les effets pour la santé des expositions aux émissions de moteur Diesel provient d'études de cas de travailleurs exposés, de tests respiratoires chez les animaux et d'épreuves bactériennes et d'essais sur des cellules animales ou humaines.

Études de cas de travailleurs exposés aux émissions de moteur Diesel

On a étudié des travailleurs de mines de charbon, de potasse et de sel ainsi que des employés des transports (locomotives, autobus et camions) afin de déterminer si l'exposition aux émissions de moteur Diesel pouvait causer des cancers ou d'autres maladies respiratoires.

Manifestation du cancer chez les travailleurs exposés aux émissions

On croit qu'à la suite de l'inhalation de particules d'émissions de moteur Diesel, il peut y avoir libération d'hydrocarbures et autres substances chimiques. Ces substances chimiques peuvent contaminer les poumons ou se répandre dans d'autres organes et d'autres tissus sur lesquels elles auront des effets toxiques. La question est de savoir si les hydrocarbures contenus dans les émissions de moteur Diesel peuvent causer le cancer des poumons et d'autres organes.

Les études effectuées jusqu'à maintenant révèlent que le taux de cancer des poumons chez les mineurs et les conducteurs de véhicules de transport ne semble pas plus élevé que chez d'autres groupes. Cependant, toutes ces études comportent des lacunes majeures. Dans certaines, il n'y avait aucun renseignement sur les niveaux réels d'émissions de moteur Diesel. D'autres ne contenaient aucun détail sur la durée de l'exposition ou la consommation de tabac des travailleurs.

Certaines études récentes avaient pour but de découvrir si le taux de types de cancer autres que celui des poumons était plus élevé chez les travailleurs exposés aux émissions de moteur Diesel[17-20].

Au cours d'une de ces recherches, on a étudié un groupe important de conducteurs de véhicules lourds. On a découvert que chez ces sujets, le taux de cancer du foie était beaucoup plus élevé que dans l'ensemble de la population masculine de race blanche aux Etats-Unis[17]. Il est très difficile de tirer des conclusions définitives, car ces études ne contenaient aucun renseignement sur les niveaux d'émissions de moteur Diesel et très peu de détails sur les antécédents de travail des sujets.

D'autres études ont suggéré que chez les conducteurs de camion, le taux de cancer de la vessie était plus élevé que chez d'autres personnes[18,19]. Cependant, après avoir pris en considération le tabagisme, la consommation d'alcool et de café, on n'a pu établir aucun lien entre l'exposition aux émissions de moteur Diesel et ce type de cancer[20]. Comme pour les études sur le cancer des poumons, il est très difficile de tirer des conclusions si on ne connaît pas la concentration des émissions de moteur Diesel ou la durée de l'exposition.

Manifestation d'autres maladies respiratoires

Les émissions de moteur Diesel contiennent des oxydes nitriques et des oxydes de soufre qui, croit-on, peuvent provoquer des maladies respiratoires. Des études effectuées sur des travailleurs de mines de sel ont révélé que ces derniers toussaient et expectoraient davantage que la moyenne, mais qu'il n'y avait pas de changement dans leurs fonctions respiratoires[21-23]. On a également étudié d'autres catégories de mineurs, des travailleurs de l'industrie ferroviaire et des travailleurs des garages d'autobus[13,15,24-27], et ce n'est que chez ces derniers qu'on a remarqué certains symptômes, notamment la respiration sifflante, de la toux et des expectorations[24-27]. On a attribué ces symptômes à des expositions de courte durée à des concentrations élevées d'émissions de moteur Diesel. On n'a découvert aucun lien entre ces émissions et des maladies respiratoires plus graves comme la bronchite ou l'emphysème.

Lacunes dans les études sur l'exposition des humains

Jusqu'à maintenant, les études réalisées sur les humains révèlent que l'exposition aux émissions de moteur Diesel ne provoque pas le cancer des poumons ou d'autres types de maladies respiratoires. Cependant, toutes ces études comportent plusieurs lacunes.

1. **Échantillonnage**
   Dans presque toutes ces études, l'échantillonnage (nombre de travailleurs étudiés) était très réduit. Pour cette raison, il est difficile de tirer des conclusions à partir des résultats obtenus.

2. **Expositions à d'autres substances**
   En général, on n'a tenu aucun compte des facteurs de style de vie, notamment le tabagisme ou l'exposition à d'autres substances chimiques sur les lieux de travail.

3. **Concentration des émissions de moteur Diesel**
   On a omis de mesurer les émissions de moteur Diesel dans presque toutes les études. Dans quelques études, on a mesuré les niveaux d'exposition et on a découvert que la concentration moyenne des émissions de moteur Diesel était d'environ 4 à 5 fois plus élevée que les niveaux dans l'air de certaines villes canadiennes[4,5]. L'exposition individuelle des travailleurs n'a été mesurée dans aucune étude.

   A l'heure actuelle, des études importantes sur les conducteurs de véhicules lourds[28] et les travailleurs de l'industrie ferroviaire[29] exposés aux émissions de moteur Diesel sont en cours. Afin de ne pas répéter les erreurs des études antérieures, l'échantillonnage comprendra un grand nombre

Lacunes dans les études sur l'exposition des humains *suite*

de travailleurs, la concentration et la durée des expositions aux émissions seront mesurées et on prendra en considération la consommation de tabac.

4. **Période d'évolution du cancer**
   Le cancer peut se manifester 30 années ou plus après l'exposition à des substances chimiques cancérigènes. Le premier appareil mû par un moteur Diesel a été installé dans des mines canadiennes en 1957, et l'usage généralisé des véhicules de transport à moteur Diesel (camions, autobus, voitures) est encore plus récent. Par conséquent, il est peut-être un peu trop tôt pour que des cas de cancer des poumons dus à des expositions aux émissions de moteur Diesel se soient déclarés.

Tests respiratoires chez les animaux

On a toujours éprouvé des difficultés à appliquer aux humains les résultats d'expériences sur des animaux. La susceptibilité aux agents cancérigènes varie énormément selon les espèces et les individus. Cependant, les études sur les animaux fournissent souvent des indications intéressantes sur l'action des substances chimiques sur les humains. Ces études sont encore plus révélatrices lorsque les animaux sont exposés aux substances chimiques de la même façon que les humains.

Des études majeures sur l'inhalation à long terme portant sur plusieurs espèces d'animaux de laboratoire sont en cours ou viennent d'être terminées[10,12,13,15]. Dans une de ces études, des animaux ont été exposés à des émissions de moteur Diesel dont la concentration de particules s'élevait jusqu'à 12 milligrammes par mètre cube, pendant des périodes allant jusqu'à 140 heures par semaine pendant plus de deux ans[10]. On a découvert qu'il y avait un nombre légèrement plus élevé de cancers des poumons chez les animaux exposés à des concentrations de particules supérieures à 8 mg/m^3. Lorsque les concentrations étaient plus faibles, on a découvert des signes de lésions aux tissus pulmonaires et de diminution de la capacité pulmonaire.

Les résultats de ces études sont utiles parce que les animaux inhalaient les émissions de moteur Diesel comme les travailleurs exposés. De plus, les émissions contenaient des gaz et des particules. Il faut cependant souligner que la concentration de particules et de gaz dans les émissions auxquelles étaient exposés les animaux était de beaucoup supérieure aux niveaux d'exposition sur les lieux de travail. Des mesures d'échantillons d'air dans des mines souterraines démontrent que la concentration moyenne de particules dans les émissions de moteur Diesel est habituellement

Tests respiratoires chez les animaux *suite*

inférieure à 2 mg/m^3[6,7,8]. La concentration de chaque gaz présent n'est que de quelques parties par million.

Épreuves bactériennes et essais sur des cellules animales ou humaines

On peut évaluer les effets toxiques des substances chimiques en faisant des essais sur des animaux; cependant, ce procédé demande beaucoup de temps et d'argent. Une méthode plus rapide et moins onéreuse consiste à utiliser des systèmes moins complexes, notamment des bactéries et des cellules animales ou humaines.

Dans ces tests, on commence par extraire les hydrocarbures des particules d'émissions de moteur Diesel. Ce procédé consiste à dissoudre dans un solvant les particules agglomérées; ce solvant sert à libérer les hydrocarbures et autres composés fixés sur les particules de carbone. La solution obtenue contient des centaines d'hydrocarbures différents. On élimine ensuite le solvant par évaporation puis on analyse un extrait du concentré afin de déterminer ses effets toxiques. On peut pousser plus loin la recherche en appliquant d'autres méthodes pour séparer les différentes sortes d'hydrocarbures contenus dans l'extrait. On peut ensuite identifier les hydrocarbures et déterminer leurs effets toxiques.

Le test de mutation le plus fréquemment utilisé est le test d'Ames, ainsi désigné d'après le nom de son inventeur Bruce Ames. Cet essai se base sur la théorie que les dommages causés au bagage génétique d'une cellule (ou mutations) constituent l'étape critique dans le développement du cancer.

Même si les résultats d'un test d'Ames appliqué à une substance chimique particulière sont positifs, cela ne signifie pas automatiquement que cette substance causera le cancer. Un résultat positif à un test de mutation signifie seulement que la substance en question pourrait causer le cancer.

En 1977, l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis a publié un avertissement après avoir découvert que des extraits de particules d'émissions de moteur Diesel causaient des mutations dans le test d'Ames[30]. Depuis lors, on a procédé à de nombreuses autres expériences en utilisant le test d'Ames ou d'autres essais semblables afin d'identifier les particules d'émissions de moteur Diesel qui causaient des mutations dans les cellules vivantes, et de comprendre ce processus. Les résultats de ces essais ont été analysés dans plusieurs rapports[12,13,15] et sont résumés ci-dessous.

1. Seuls quelques-uns des centaines d'hydrocarbures contenus dans les émissions de moteur Diesel ont été identifiés.

Épreuves bactériennes et essais sur des cellules animales ou humaines *suite*

2. Dans des tests sur des bactéries, on a découvert que certains de ces hydrocarbures causaient des mutations.

3. Certains hydrocarbures ont un pouvoir mutagène beaucoup plus élevé que d'autres. On a remarqué que les hydrocarbures qui ont réagi avec les oxydes nitriques contenus dans les émissions de moteur Diesel sont particulièrement mutagènes.

4. Dans des tests sur des bactéries, on a découvert que les extraits de particules d'émissions de moteur Diesel semblaient avoir un pouvoir mutagène moins élevé que les émissions de four à coke, le goudron pour toit et la fumée de cigarette.

Des essais en laboratoire réalisés sur des cellules de souris, d'hamsters et d'humains ont également révélé que les extraits des particules d'émissions de moteur Diesel pouvaient causer des mutations.

Peut-on établir un parallèle entre ces résultats et l'exposition des travailleurs aux émissions de moteur Diesel? Premièrement, les extraits utilisés pour les tests sont beaucoup plus concentrés que les émissions au travail. Pour les essais, les extraits sont concentrés de façon à ce qu'on puisse détecter des effets. Deuxièmement, des effets, notamment une mutation, constatés dans une expérience sur des cellules isolées ne signifient pas nécessairement que les mêmes effets se produiront chez des animaux ou des êtres humains vivants. En effet, l'organisme des animaux et des humains contient des mécanismes de défense qui n'existent pas dans les cellules isolées. Troisièmement, l'action des hydrocarbures fixés aux particules d'émissions de moteur Diesel sur des animaux vivants diffère probablement beaucoup de l'action des extraits concentrés sur des cellules isolées.

Conclusions tirées des connaissances actuelles sur les effets des émissions de moteur Diesel pour la santé

1. Des indices sérieux portent à croire que les extraits concentrés des particules de carbone provenant des émissions de moteur Diesel peuvent provoquer des mutations chez les bactéries et dans des cellules animales ou humaines.

2. Certains résultats indiquent que l'exposition à des concentrations élevées d'émissions de moteur Diesel pendant une longue période de temps provoque des modifications des fonctions pulmonaires et le cancer des poumons chez les animaux.

3. Peu d'indices permettent de croire que les émissions de moteur Diesel à des concentrations qui existent sur les lieux de travail peuvent provoquer le cancer des poumons ou des modifications permanentes des fonctions pulmonaires chez les travailleurs exposés.

Conclusions tirées des connaissances actuelles sur les effets des émissions de moteur Diesel pour la santé
suite

4. On a estimé que le risque d'être atteint d'un cancer des poumons à la suite d'exposition à des émissions de moteur Diesel n'était pas plus élevé ou presque que pour les autres causes de cancer.

Il paraît justifié de s'inquiéter des effets provoqués par les concentrations élevées de particules ou les extraits utilisés dans les essais en laboratoire. On ne sait pas encore quelles pourraient être les conséquences de plusieurs années d'exposition à de faibles concentrations, et c'est pourquoi il faut s'efforcer de limiter les expositions le plus possible. On pourra y parvenir en élaborant des dispositifs d'épuration des gaz d'échappement comme des filtres et des épurateurs (laveurs) conçus pour réduire ou éliminer les émissions à leur source. On peut également réduire les expositions aux émissions de moteur Diesel en assurant l'évacuation de l'air vicié, en installant un système de ventilation général et en fournissant un appareil de protection des voies respiratoires lorsque la ventilation n'est pas possible.

RÉFÉRENCES

1. Sutton, G.W.; Weems, G.W.; Schutz, L.A.; Trabant, G.D. Summary report of the environmental results of the MSHA and NIOSH silica/diesel exhaust study. Industrial Hygiene for Mining and Tunneling - Proceedings of an ACGIH Symposium, 11/6-7/78. p. 109-117

2. Stewart, D.B,; Mogan, P.; Dainty, E.D. Diesel emissions and mine ventilation. Canadian Institute of Mining Bulletin. (March 1978.) p. 144-151

3. Johnson, J.H. An overview of monitoring and control methods for diesel pollutants in underground mines using diesel equipment. Canadian Institute of Mining Bulletin. (July 1980.) p. 73-87

4. Westaway, K.C.; Foulds, A.J. Diesel PAH levels in underground mines. In : Wagner, W.L. et al., eds. Health issues related to metal and nonmetallic mining. Toronto, Ontario : Butterworth, 1983. p. 355-378

5. Mogan, J.P. et al. Polynuclear aromatic hydrocarbons and mutagens in the air of underground dieselized mines. Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) report ; no. MRP/MRL 83-4. CANMET, January 1983

6. French, I.W.; Mildon, A. Health implications of exposure of underground mine workers to diesel exhaust emissions - an update. Contract Report DSQ77-00005. Ottawa, Ontario : Department of Energy, Mines and Resources, CANMET, April 1984

7. French, I.W.; Mildon, A. Health implications of exposure of underground workers to diesel exhaust emissions. Contract Report DSQ77-00005. Ottawa, Ontario : Department of Energy, Mines and Resources, CANMET, December 1979

8. Holliday, M.G.; Sifton, J.W.; Engelhardt, F.R.; Langdon, S.W.; Meng, R.A. Occupational health aspects of diesel exhaust emissions in Ontario. Ottawa, Ontario : Michael Holliday & Associates, November 1981. p. 102-110

9. Weisenberger, B.L. Health of diesel emissions - an update. Journal of the Society for Occupational Medicine. Vol. 34 (1984). p. 90-92

10. McClellan, R.O. Health effects of diesel exhaust : a case study in risk assessment. American Industrial Hygiene Association Journal. Vol. 47, no. 1 (1986). p. 1-13

11. Cuddihy, R.C.; Giffith, W.C.; McClellan, R.O. Health risks from light-duty diesel vehicles. Environmental Science and Technology. Vol. 18, no. 1 (1984). p. 14-21

12. Lewtas, J., ed. Toxicological effects of emissions from diesel engines. New York, NY : Elsevier Biomedical, 1982

13. National Research Council. Impacts of diesel-powered light-duty vehicles : health effects of exposure to diesel exhaust. Washington, DC : National Academy Press, 1981

14. Harris, J.E. Potential risk of lung cancer from diesel engine emissions. Washington, DC : National Academy Press, 1981

15. Pepelko, W.E.; Danner, R.M.; Clarke, N.A., eds. Health effects of diesel engine emissions. Proceedings of an international symposium December 3-5, 1979. Vol. 1-2. Cincinnati, OH : U.S. Environmental Protection Agency, Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, November 1980

16. Schenker, M.B. Diesel exhaust - an occupational carcinogen? Journal of Occupational Medicine. Vol. 22, no. 1 (January 1980). p. 41-46

17. Wong, O.; Morgan, R.W.; Kheifets, L.; Larson, S.R.; Whorton, M.D. Mortality among members of a heavy construction equipment operators union with potential exposure to diesel exhaust emissions. British Journal of Industrial Medicine. Vol. 42 (1985). p. 435-448

18. Silverman, D.T.; Hoover, R.N.; Albert, S.; Graff, K.M. Occupation and cancer of the lower urinary tract in Detroit. Journal of the National Cancer Institute. Vol. 70, no. 2 (February 1983). p. 237-245

19. Hoar, S.K.; Hoover, R. Truck driving and bladder cancer mortality in rural New England. Journal of the National Cancer Institute. Vol. 74, no. 4 (April 1985). p. 771-774

20. Wynder, E.L.; Dieck, G.S.; Hall, N.E.L.; Lahti, H. A case-control study of diesel exhaust exposure and bladder cancer. Environmental Research. Vol. 37 (1985). p. 475-489

21. Gamble, J.; Jones, W.; Hudak, J.; Merchant, J. Acute changes in pulmonary function in salt miners. Proceedings of an ACGIH Topical Symposium November 6-7, 1978. Cincinnati, OH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1978. p. 119-128

22. Ames, R.G.; Attfield, M.D.; Hankinson, J.L.; Hearl, F.J.; Reger, R.B. Acute respiratory effects of exposure to diesel emissions in coal miners. American Review of Respiratory Diseases. Vol. 125 (1982). p. 39-42

23. Gamble, J.; Jones, W.; Hudak, J. An epidemiological study of salt miners in diesel and nondiesel mines. American Journal of Industrial Medicine. Vol. 4 (1983). p. 435-458

24. el Batarvi, M.; Noweir, M. Health problems resulting from prolonged exposure to air pollution in diesel bus garages. Industrial Health. Vol. 4 (1966). p. 1-10

25. Jones, W.; Gamble, J.; Minshall, S. Epidemiological-environmental study of diesel bus garage workers. I. Industrial hygiene study of four diesel bus maintenance facilities. In press

26. Gamble, J.; Jones, W.; Minshall, S. Epidemiological-environmental study of diesel bus garage workers. II. Acute effects of diesel exhaust on the respiratory system. In press

27. Gamble, J.; Jones, W.; Minshall, S. Epidemiological-environmental study of diesel bus garage workers. III. Chronic effects of diesel exhaust on the respiratory system. In press

28. Milby, T. et al. Diesel exhaust exposure - human health effects research recommendations. Report of Environmental Health Association to the Co-ordination Research Council, 1979. p. 135-136

29. Schenker, M.B.; Speizer, F.E. A retrospective cohort study of diesel exhaust exposure in railroad workers : study design and methodologic issues. In : Pepelko, W.E; Danner, R.M.; Clarke, N.A., eds. Health effects of diesel engine emissions. Proceedings of an International Symposium. Cincinnati, OH : EPA, November 1980. p. 1114-1126

30. Precautionary notice on the handling of exhaust products from diesel engines. Washington, DC : Environmental Protection Association, November 4, 1977